

様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 22 年 5 月 11 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20760164

研究課題名（和文） 小型電動グリップを実現する柔軟把持機構の研究

研究課題名（英文） Study on flexible gripping mechanism for realizing miniature electric gripper

研究代表者

安藤 大樹（ANDO HIROKI）

福井大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：60377819

研究成果の概要（和文）：産業用ロボットの分野では、省エネルギー化と制御性の向上の両観点から、物体の把持を行うグリップの小型・電動化が要求されている。本研究では、柔軟な指をもつグリップをベースに、対象物へソフトに接触し、小さい駆動力で大きな把持力を達成する柔軟把持機構を開発した。さらに、その柔軟把持機構の設計を容易に行えるよう、設計モデルを構築した。

研究成果の概要（英文）：In the field of industrial robots, miniaturization and electric motorization of robotic grippers are required from the viewpoint of energy-saving and controllability. This work developed gripping mechanisms to fulfill these requirements, based on a robotic gripper with flexible fingers. Moreover, this work developed design models to easily design the mechanisms.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総 計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：ロボットグリップ、コンプライアントメカニズム

1. 研究開始当初の背景

産業用ロボットの分野において、物体の把持を行うグリップはエアコンプレッサを用いた空気圧駆動方式が主流である。空気圧式グリップは、エアシリンダによる単純機構であるため小型かつ軽量である。このため、グ

リップが取り付けられるマニピュレータなどへの負荷が小さい。

しかし近年、制御性やエネルギー効率の面からグリップの電動化が要求されている。ソレノイドやモータによる駆動の試みはなされているが、機構が大型かつ複雑になる上に、

アクチュエータの質量も加わるため質量が空気圧式の 10 倍以上にもなり、普及型電動グリップは未だ世の中に出現していない。さらに、グリップの把持そのものの技術として、ソフトな把持技術の向上も要求されている。大型かつ複雑な電動グリップに対してフィードバック制御系を構成し、把持性能を向上させる試みはなされているが、性能を向上させようとすればするほど、制御対象であるグリップの機構特性の限界に直面する。以上のことは、機構と制御の両面からグリップの電動化を考えなければならないことを意味する。

小型電動グリップの研究のほぼ全ては、マイクロサイズの対象物の把持を対象としている。そしてこのほとんどが、剛性の高いリンク部と弾性ヒンジを組み合わせた機構を採用しているか、フィンガー部に可変圧電材料を採用している。しかし、いずれもほとんどが圧電素子などの出力変位がわずか数 μm ～数十 μm 程度のアクチュエータと複雑な変位拡大機構を組み合わせた機構を採用しているため、最大開閉量はせいぜい数百 μm となっている。さらに粗動用としてステッピングモータと送りネジを組み合わせた別の機構を付加した研究もあるが、これらの研究の延長では、ミリサイズ以上の部品を対象とした小型電動グリップの実現は不可能である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、小型・軽量化は容易であるが、エネルギー効率および制御性の面で不利な空気圧式グリップに代わり、対象物にソフトに接触し、十分大きな把持力で確実な把持を行う小型電動グリップを実現することである。

3. 研究の方法

本研究では、以下に示す機構全体の弾性変形を利用した柔軟把持機構をベースに、ソフトな把持を行うグリップの機構を検討した。

短冊状の薄板を二つに折り曲げ、一端を固定し、他端を図 1 に示すように鉛直下向きに引っ張ると、引張量に対して折り曲げられた先端部が大きく変位する。これは、長柱の座屈現象を応用し、非常に単純な構造で構成された変位拡大機構である。さらに、短冊状の薄板を図 2 に示すように折り曲げ、両端を固定し、中央に駆動力 P を作用させると、図 2 中の折り曲げられた先端部 B および F は互いに接近し、図 3 に示すように物体を把持する。

本機構は、単純機構により小型電動化を実現し、さらに、機構全体が剛性の低い弾性体で構成されることから対象物のソフトな把持を実現している。しかし、一般の変位拡大機構と同様に、変位と把持力の間にはトレードオフの関係があるため、アクチュエータま

でを含めた小型・軽量化は達成されていない。

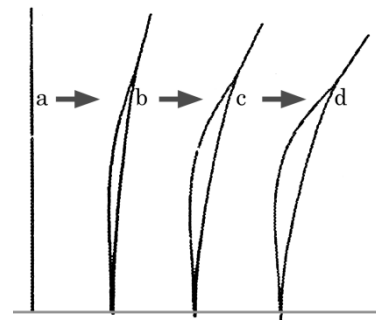


図 1 長柱の座屈現象を応用した構造が単純な変位拡大機構

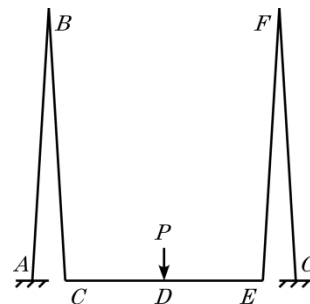


図 2 柔軟把持機構

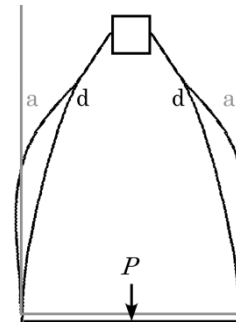


図 3 柔軟把持機構による物体把持の様子

そこで本研究では、対象物のソフトな把持を実現しているこの柔軟把持機構に対して、小さい駆動力で大きな把持力を発生させるための新たな境界条件を導入することを考え、「変形拘束点の導入」および「ヒンジの導入」の 2 つを検討した。

(1) 変形拘束点の導入

柔軟把持機構は、物体把持後さらに駆動力 P を増加させると、把持力が増加するとともに、把持指の外側への膨らみ（図 3 参照）もさらに増加する。この膨らみを受動的に制御し、構造物のエネルギー安定姿勢を変化させることにより、単純な構造のままエネルギー的に有利な機構が実現され、アクチュエータの負担が軽減すると予想される。

このことを確認するため変形拘束点を導入し、拘束条件の違いによる駆動力と把持力の関係の変化を調べる実験を行った。変形拘束実験は、変形を拘束する位置を図4中に h と x_c で示す2つの値を変えて行った。

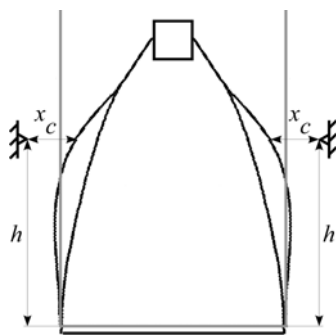


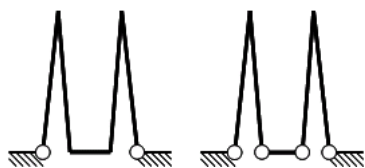
図4 変形を拘束する位置

さらにこの変形拘束を受ける柔軟把持機構の設計モデルを構築するために、把持指が外側へ大きく膨らむ変形を表現可能な非線形機械力学モデルを構築した。

(2) ヒンジの導入

柔軟把持機構は、機構全体が弾性変形することにより対象物の把持を行う。このため、把持指が対象物に接触するまでも把持指を変形させるための駆動力を要する。この対象物との接触までに要する駆動力をヒンジの導入により削減し、その分の駆動力を把持力に利用すれば、小さい駆動力で大きな把持力を発生することができ、アクチュエータの負担が軽減すると予想される。

このことを確認するため、すでに構築していた柔軟把持機構の構造力学モデルを拡張し、構造解析を行った。さらにこの解析結果を検証するため、図5に示すヒンジを導入した構造に対して検証実験を行った。



(a) Case 1 (b) Case 2

図5 ヒンジを導入した柔軟把持機構

4. 研究成果

柔軟把持機構をベースとして検討を行った新たな2つの境界条件の導入における主な成果を以下に示す。

(1) 変形拘束点の導入の効果

変形拘束の実験結果として、図6に変形を拘束された柔軟把持機構の駆動力と把持力の関係を示す。図6から、駆動力の増加に伴

い増加する把持力の増加曲線が、変形拘束条件により異なることが確認できる。また、駆動力の増加に対して把持力が急激に増加する条件があることが確認できる。さらにそれらの条件は、拘束を行わない場合と比較すると、最大で2.5倍程度の最大把持力を達成していることが確認できる。このことは、小さいアクチュエータで大きな把持力を発生することができることを意味しており、電動グリッパの小型・軽量化が実現可能であることを示している。

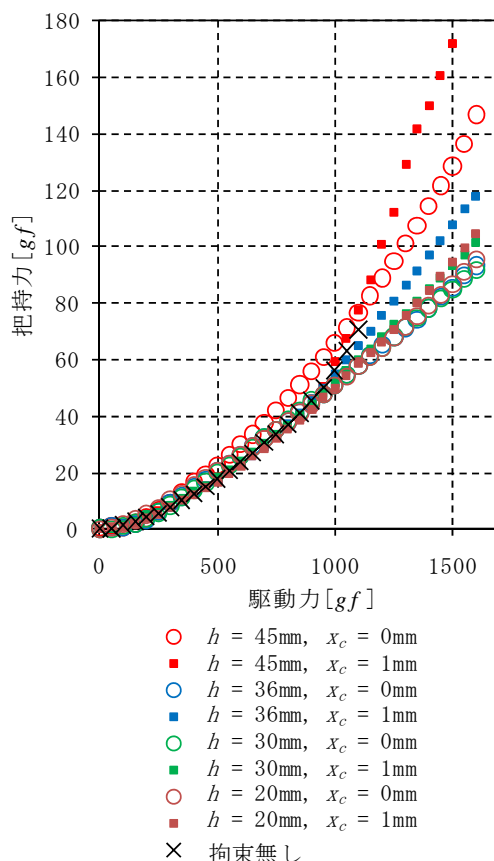
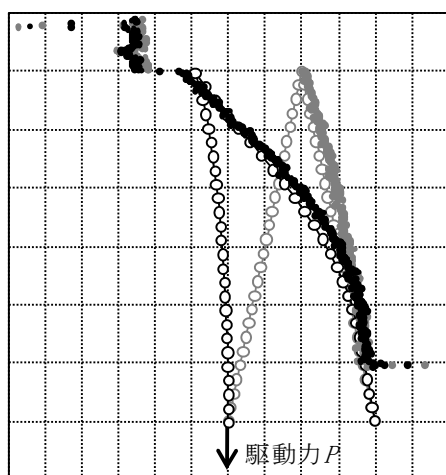


図6 変形を拘束された柔軟把持機構の駆動力と把持力の関係

また、本研究で構築した把持指が外側へ大きく膨らむ変形を表現可能な非線形機械力学モデルを用いて行ったシミュレーションによる計算結果と実験結果の比較を図7に示す。図7から、計算結果と実験結果の良い一致が確認できる。このことは、新たに導入した境界条件も含めた柔軟把持機構の設計が、構築したモデルを用いることにより容易に行えることを意味する。

(2) ヒンジの導入の効果

図8に図5に示したヒンジを導入した構造とヒンジの無い構造における駆動力と把持力の関係を示す。図8より、構造解析による



- 実験結果 ($P = 0.0 \text{ gf}$)
- 実験結果 ($P = 52.8 \text{ gf}$)
- 計算結果 ($P = 0.0 \text{ gf}$)
- 計算結果 ($P = 52.8 \text{ gf}$)

図7 柔軟把持機構の変形シミュレーションの実験結果との比較

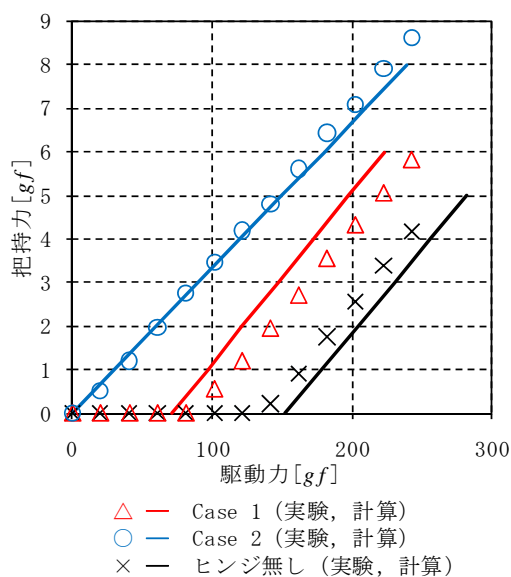


図8 ヒンジを導入した柔軟把持機構の駆動力と把持力の関係

計算結果と検証実験の結果との良い一致が確認できる。またヒンジを導入することにより、ヒンジ導入前と同じ駆動力でより大きな把持力を発生することが確認できる。このことは、小さいアクチュエータで大きな把持力を発生することができることを意味しており、変形拘束点の導入による効果と同様に、電動グリッパの小型・軽量化が実現可能であることを示している。

(3) 今後の展望

これまで、柔軟構造物に関する研究は多くの分野で盛んに研究されてきたが、それらのほとんどは剛性を犠牲にして軽量化された構造物の形の保持を目的とした振動制御に関する研究であり、柔軟構造物の変形を機能的に制御する研究は学術的に未発達分野である。このため、本研究において構築した設計モデルは、機能的に変柔軟構造物の基礎を築く上で大きな意義がある。さらに、本研究で開発した可変柔軟把持機構は、産業用ロボットの分野で大きな課題となっているソフトな把持を行う小型電動グリッパを実現し、工場のエアレス化による CO_2 削減等へ貢献するばかりでなく、低侵襲外科手術に利用される腹腔鏡下手術用鉗子、障害者の製造業への参加を容易にする障害者用ピンセットといった医療・福祉分野や、極限的軽量化・省エネルギー化が要求される宇宙開発分野への貢献も期待できる。

このような観点から、本研究は人と環境に対する機械の安全性・親和性を高める可変柔軟機械システムを実現する技術として発達するものと考えられる。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計6件)

- ① 安藤 大樹, Modeling of a flexible gripping mechanism based on the principle of stationary potential energy, ICMIT2009, 2009年12月4日, Gwangju, Korea.
- ② 安藤大樹, Simulation of the gripping action of a simple gripping mechanism with flexible fingers, ISAMPE2009, 2009年11月6日, Shanghai, China.
- ③ 安藤大樹, 柔軟把持機構の把持力と弾性座屈の関係, 日本機械学会 2009年度年次大会, 2009年9月14日, 岩手大学.
- ④ 安藤 大樹, Enhancement of gripping efficiency of miniature gripper applying elastic buckling phenomenon by constraining deformation, 2008 ASME IMECE, 2008年11月6日, Boston, Massachusetts, USA.
- ⑤ 安藤 大樹, Gripping efficiency of simple gripping mechanism with hinges, 2008 ASME IDETC&CIE, 2008年8月5日, Brooklyn, New York, USA.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安藤 大樹 (ANDO HIROKI)

福井大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：60377819